DOI:
张震 窄带载波自动抄表系统设计研究［J］. ****，****，**，（**）：00-00
ZHANG Zhen　Research on the design of narrowband carrier automatic meter reading system［J］. ****，****，**，（**）：00-00

窄带载波自动抄表系统设计研究

张震
华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100

摘　要：主要介绍了国网在 2010-2014 年间将完成的用电信息采集系统建设，特别关注了本地窄带载波通信方式的应用和问题。文章还提到了合作开展本地窄带载波自动抄表系统工程设计与管理方法的研究，并强调了这是一项复杂且需要大量投资的民心工程。前期工作研究借鉴了低压电力线窄带载波通信系统性能评估体系的经验，并提出了一系列创新性的建设策略。同时，文章也指出了国网用电信息采集系统企业标准在制定过程中存在的一些失策，如未将居民用户的本地窄带载波自动抄表系统技术瓶颈作为研究重点，以及标准中的一些问题和不足。这段文字主要围绕“国网用电信息采集系统建设”和“本地窄带载波通信方式的应用与问题”展开，同时涉及了前期工作研究、创新性建设策略和标准制定失策等方面的内容。

关键词：窄带载波　自动抄表系统　工程设计
中图分类号：TM933.4　**文献标识码：**　**文章编号：**

Research on the design of narrowband carrier automatic meter reading system

ZHANG Zhen
Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co.，Ltd.，Jinan，shandong 250100，China

Abstract: mainly introduces the construction of the electricity information collection system to be completed by the State Grid in 2010-2014, and pays special attention to the application and problems of the local narrowband carrier communication mode. The article also mentions the research on the engineering design and management methods of the local narrowband carrier automatic meter reading system, and emphasizes that this is a complex and popular project that requires a lot of investment. The preliminary work study draws on the experience of the performance evaluation system of low-voltage power line narrowband carrier communication system, and proposes a series of innovative construction strategies. At the same time, the paper also points out some mistakes in the formulation process of the enterprise standard of the State Grid electricity information acquisition system, such as the failure to focus on the technical bottleneck of the local narrowband carrier automatic meter reading system for residential users, and some problems and deficiencies in the standard. This text mainly focuses on the "construction of the State Grid electricity information acquisition system" and "the application and problems of local narrowband carrier communication mode", and also involves the preliminary work research, innovative construction strategies and standard formulation failures.

Key words: Narrowband carriers　Automatic meter reading system　Design

作者简介：张震 男 ，(1977-)，　从事电能计量技术研究　721047546@qq.com

0 引言

2010—2014年，国网将完成用电信息采集系统建设，全覆盖居民用户24000万户，占国网用户总数的91%，每日远程抄录电量占国网总售电量的13%。应该说，这是一项海量、复杂、巨额投资的系统工程，又是涉及千家万户用电、交费的民心工程。

本地窄带载波通信方式由国网营销部门主推，占本地自动抄表系统居民用户数的50%，是用电信息采集系统的基础环节。

近两年，国网用电信息采集系统建设在通信制约下大规模推进，同时也反映出窄带载波通信很多的问题。2009年10月—2011年8月，由重庆电科院、威胜集团公司、青岛东软公司与本文作者合作开展低压电力线窄带载波通信系统性能评估体系统课题的研究。现在，在国内又首先提出合作开展本地窄带载波自动抄表系统工程设计与管理方法的研究，这是用电信息采集系统建设最底层、难度较大的新课题。

一、前期工作研究

1、 借鉴低压电力线窄带载波通信系统性能评估体系课题研究的经验。

该课题取得一系列国内首创的初步成果：

1）依托重庆实验公变台区项目，多方合作开展窄带载波通信系统现场评估技术研究，可以展示出的科技成果，包括：

·《实验公变台区选择要求》与选择方法

·《评估用用电信息采集系统建设实施方案》与建设项目

·低压电网影响载波通信质量的通信环境参数监测、分析与载波通信环境监测仪研制，提出通信环境典型测试数据报告。

·公变台区计量资产清理规范与低压电力线路改造方案指导意见

·用电信息采集系统性能的考核指标系列与典型测试数据报告

·不同窄带载波调制方式的载波通信方案现场测试比对数据报告

2）窄带载波电表（窄带载波通信模块）性能测试项目

提出两个不同方案的科技成果，一是由重庆电科院与新联公司合作开发的实验室低压电力线载波通信（点对点）测试系统；另一是由威胜公司研发的窄带载波通信性能全自动测试装置。

3）窄带载波通信系统路由仿真测试项目的研究

提出两个不同方案的科技成果，一是由重庆电科院与新联公司合作开发、以硬件型为特征的实验室低压电力线载波通信路由测试系统；另一是由威胜公司提出的电力线载波通信路由实验室仿真测试系统。

需要指出：东软公司在路由算法与仿真技术研究方面起步较早，积累起许多经验，提供了NS2高级路由仿真文稿；国际上有关窄带载波通信标准译文。

以上叙述的该课题取得的初步研究成果，主要源于开发思维创新。在此基础上，总结提出了高品质本地窄带载波自动抄表系统建设策略：

1）创建本地窄带载波自动抄表系统性能比较用的实验配变台区，开发出快速查找通信故障与不同窄带载波通信方案差异化的测试方法。

2）采用反向思维，查明引起通信故障的要素，通过三方（电力部门、通信芯片公司、系统集成商）合作处理发现的通信故障全部问题：

·电力部门管低压电网引发通信故障的影响量，管住干扰源，改造低压电力线路；

·通信芯片公司主要改进路由、中继、组网技术，纠错算法，调制方式等；

·系统集成商管住输入、输出电路的抗干扰，发射、接收电平与系统软件开发。

3）从窄带载波产品实验室检验抓起，为此研究窄带载波电表性能的实验室检验装置、模拟现场本地系统的实验室通信路由仿真测试系统。

4）重视高频干扰源的管制，降低路由、中继、组网技术难度，特别是低压电网的随机噪声，需要采用统计学原理测量与记录方法，该项目国内尚未启动。

5）倡导开展高品质本地窄带载波自动抄表系统工程设计与管理方法研究。

2、 剖析国网用电信息采集系统企业标准有哪些失策？

国网用电信息采集系统是电网营销业务的一个分支。其功能包括：系统数据采集、数据管理、

控制、综合分析、运行维护管理、系统接口等。用电信息采集系统功能规范的编制，主要参考大用户电力负荷管理系统及负荷管理终端的相关标准，未将居民用户的本地窄带载波自动抄表系统技术瓶颈作为一个重点来研究。

1）用电信息采集系统的总目标："全覆盖、全采集、全费控"，由于缺乏高品质本地通信质量作为保障措施，其总目标难以高水准实现。

2）Q/GDW375.3-2009用电信息采集系统技术方案设计导则明文规定：

·在低成本解决方案中，低压电力线载波、微功率无线网络、RS-485通信成为可选择的方案。

3）Q/GDW374.3-2009，用电信息采集系统通信单元技术规范，其低压电力线窄带载波通信的基本要求，与DL/T698-1999相同，与Q/GDW379.4-2009不一致。

4）Q/GDW379.4-2009用电信息采集系统通信单元检验技术规范明文规定：

·窄带载波通信单元检验项目包括：

·通信单元输出性能

·发射性能

·接口性能

·传输性能

·功耗

·通信协议一致性

以上检验项目都是型式试验项目；出厂检验、到货验收时不做测试；安装前检验项目更无规定。

5）Q/GDW379.1-2009用电信息采集系统检验技术规范

·抄表准确率，（居民用户）抽样检验，抄表时间应选取在用电负荷较轻的时段。

6）评论：国网用电信息采集系统企业标准的失策，掩盖了本地窄带载波通信技术瓶颈的存在，导致本地窄带载波自动抄表系统建设的多隐患、低水准，更提不到智能电网及AMI工程需要的双向高速通信的高度。

3、 研究由参考件《低压电力线载波通信技术研究进展》提出的问题：

1）解决电力线载波通信可靠性方面，主要有两大思路：

·提高点对点通信正确接发概率，其中：

·物理层问题有6项研究热点，

·链路层，主要是研究信道编码、介质访问控制（MAC）

·使用网络层组网路由（中继）的方法

·还有，应用层问题要研究通信业务及网络管理模型

2）载波通信模块输出阻抗和电力线输入阻抗的匹配程度直接影响信号耦合的效率。

3）电力线载波通信模块的外围电路设计中，很重要的一部分内容是滤波电路设计。在窄带通信中，基本上可以归结为谐振电路的设计。

4）在3KHz~500KHz频率范围内，如何建立低压电力线信道模型、提出传递函数？

5）调制解调算法、频谱优化及信道估计是电力线OFDM技术的热点研究方向。

6）基于混沌跳频的编码系统，其混沌跳频的交织器只需要较低信噪比就能获得较低的通信误码率。

7）低压电力线通信组网技术，提出：

·《低压电力线通信分簇路由算法及网络重构》

·《基于蚁群算法的低压配电网电力线通信组网方法》

·《低压电力线通信网络特性模型与组网算法》

8）电力线载波调制芯片应用技术

·窄带电力线产品主要是基于ST公司的ST75XX系列等2FSK调制方式和Intellon公司的P300、P400等以扩频调制方式为基础的相关产品。

9）低压窄带电力线通信标准的新进展？

·PLC技术的标准化工作至今仍在缓步进行，对传导干扰进行定义及限值制定等问题至今很难达成一致。

10）展望

·利用多种智能理论和技术，提高系统抵抗能力、识别能力、可恢复能力和速率自适应性。

·面向服务的资源控制。在通信质量保证前提下，控制最小发射功率，可以减少不必要的EMI影响。

二、讨论与验证

1、系统工程设计与管理的目标；影响窄带载波通信质量要素

1）重庆电科院：《低压电力线载波现场评估

应用技术》

2）青岛东软公司提供：《BS EN 50065-1：2001+A1：2010在3KHz至148.5KHz频率范围内低压电力装置上的信号传输 第1部分 一般要求，频率范围和电磁骚扰》

2、如何防止漏电保护开关误动作

1 ）中国电科院：《载波帧听/冲突检测机制应用于低压电力线载波通信的适应性分析》

3、低压电力线阻抗定义、测试、阻抗—时间曲线

1）重庆电科院：《低压配电网载波通信频率和阻抗关系的研究》

2）重庆电科院：《低压配电网载波信号衰减特性研究》

3）华北电力大学：《低压电力线窄带载波通信信道阻抗与衰减特性的现场测量与分析》

4）云浮供电局：《室内低压电力线信道特性测量与分析》

5）北京化工大学：《低压电力线载波信道阻抗测试终端的设计与应用》

4、家用电器高频干扰信号特性、高频干扰信号—时间曲线、高频干扰源如何管制？

1）宝坻供电公司："攻克高频谐波影响载波通信难题"

2）ADI公司：《低压电力线噪声特征研究》

5、低压电力线窄带载波信道模型？窄带载波模块发射功率分布；路由、中继、组网算法评估方法；最大发射功率、组网时间、中继级数如何控制？

1）黑龙江科技学院：《基于可预测ρ-保持CSMA的低压电力线载波抄表自动路由技术》

2）朗金公司：《自适应电网信道的低压载波抄表系统全动态中继技术》

3）均方根公司：《动态组网技术在自动抄表领域的应用》

4）合肥工业大学：《基于智能中继技术的低压载波自动抄表系统实现》

5）华北电力大学：《10KV电力线载波通信自动组网算法》

6、窄带载波模块在实验室选型方法

1）重庆电科院：《低压电力线载波通信测试系统的研制》

2）威胜集团公司：《主流载波通信模块设计与测试介绍》

3）青岛东软公司：《电力线载波通信测试环境的搭建》

4）正泰仪器仪表公司：《基于Lonworks的载波技术基础研究》

5）黑龙江电科院：《低压电力线载波通信及信号传输特性检测方法》

7、路由、中继、组网性能在实验进行模拟仿真测试

1）重庆电科院：《电力线载波通信路由测试系统研制》

2）威胜集团公司：《路由测试仿真平台系统功能介绍》

3）青岛东软公司：《网络仿真软件—NS2简介》

8、配变台区串扰信号识别与测试

9、对低压电力线及T接线、通信线的接线质量要求；铜铝接头上窄带载波信号反射损失测试。

10、OFDM窄带载波通信方式的应用

1）网上信息："OFDM电力载波芯片应用效果决定前景"

2）兰吉尔仪表系统（珠海）公司：《基于OFDM的低压电力线载波通讯技术及其在高级计量管理系统中的应用》

3）《东软5代载波系统概述》

4）湖南大学：《低压窄带电力线载波通信的半盲式信道估计》

5)燕山大学:《一种基于周期失配序列的OFDM时变信道估计》

11、工频通信技术应用前景

1）中国电科院：《配电网工频通信多路传输技术》

2）《电力远程抄表系统，能够跨变压器台区》

12、本地窄带载波自动抄表系统自动测试功能

1 ）浙江电力公司：首创采集终端自动调试技术

·只要完成设备接线，集中器—采集器—客户之间的对应关系即可自动生成，无需复杂的测试工作。在电能表更换、台区割接等业务过程中，系统则自动更新逐级对应关系。

2 ）青岛东软公司：《基于电力线通信网络抄表系统中的表号搜索算法》

三、系统工程设计与管理方法初步研究

1、 配变台区收资

1）居民总户数及用电总容量、用电设备总容量；楼群分布居民用户数及用电容量、用电设备容量。

2）楼群的电梯、水泵及电容器、变频器（开关频率40-210KHz）的数量、容量。

3）配变总数及总容量，单台配变容量。

4）架空线、T接线、电缆的长度、线径、铜铝接头数。

5）无功补偿电容量及分布容量

6）电表位置拓朴图；电表之间电力线长度、线径。

7）家用电器（开关电源工作频率40-120KHz、节能灯工作频率50KHz）数量及总容量

8）商业网点用电容量、电器设备容量

9）光伏电站/风光新能源容量、逆变器容量及工作频率

10）电动汽车充电桩容量，电压、电流谐波含有率。

2、 勘测

1）在晚高峰、白天轻负荷时，用电总功率、分布功率测量。

2）在晚高峰、白天轻负荷时，电力线阻抗、高频干扰信号强度、配变台区串扰信号强度测试。

3）高频干扰源（电梯、水泵、大容量家用电器）向低压电网注入高频干扰信号强度

4）在配变出口处加入常用窄带载波信号限值，距离配变100、200、250、300、350、400、450、500m处测量常用窄带载波信号强度衰减量。

5）常用窄带载波调制频率的发射功率分布测量？

6）电力线铜铝接头上窄带载波信号反射损失率测量

7）对居民用户对地耦合电容量进行抽测

3、 窄带载波模块基本与扩展测试项目

1）Q/GDW374.3-2009 用电信息采集系统通信单元技术规范

·低压电力线窄带载波通信，优先选择IEC61000-3-8 规定的电力部门专用频带9KHz~95KHz

·输出信号电平，要低于限值的20%

·带外传导骚扰电平，要高于限值的20%

2）Q/GDW379.4-2009 用电信息采集系统通信单元检验技术规范

·通信单元输出性能

·信号频率

·最大输出信号电平

·使用频带外的干扰电平

·发射频率偏转测试

·发射性能

·发射温升

·发射频率温度漂移

·接收性能测试

·接收频率偏移容限

·传输性能测试

·通信成功率

·功耗测试

·静态功耗

·动态功耗

·通信协议

·协议一致性

3）窄带载波模块最大发射功率

4）窄带载波信号传输速率

5）窄带载波模块滤波电路性能

6）窄带载波模块输出耦合电路谐振点

7）窄带载波模块带载能力

8）窄带载波模块接收灵敏度

9）抗噪声干扰测试

4、 本地系统设计与仿真

1）本地系统设计目标与考核指标

·本地系统设计目标

·用于月计费、月线损管理的自动抄表系统，要求自动抄表成功率24h、100%。

·用于日线损管理、远程预付费管理系统的，要求2h、100%（最优为1 h、100%）。

·用于AMI工程试点的系统，要求1 h、100%。

·窄带载波干扰抑制的要求：（待定）

·本地系统考核指标：（待定）

2）本地系统架构设计：（待定）

3）本地系统计算与选型

·电力线参数计算与分析：

·电力线阻抗—频率特性曲线

·电力线上窄带载波信号衰减特性及分析

·电力线高频干扰信号频带、强度、发生时刻

·按照本地系统设计目标与后面叙述的路由、中继、组网性能设计值，提出窄带载波通信的最低传输速率限值（bps）

·窄带载波模块选用

·使用频率要尽可能避开电力线同频干扰

·窄带载波模块输出阻抗与电力线输入阻抗基本匹配。

·窄带载波信号发射功率、接收灵敏度在保证自动抄表成功率100%的基础上，要取低值。

·优先采用通信技术

·FSK/PSK两种调制方式：

·2 个频率；

·跳频技术

·路由、中继、组网性能初步计算

·低压电力线窄带载波信道模型研究提出

·路由、中继、组网算法选择与计算参数调整

·集中器首次发射窄带载波信号时，最远接收成功的节点（智能电表）距离计算

·按照本地系统设计目标，计算路由、中继、组网性能，包括路由组网时间、中继级数、路径自适应能力、自动测试项目实施、抄表效率；计算影响量对路由、中继、组网性能影响，包括环境温率、电磁串扰、发送功率、信号强度、接收灵敏度、线路位置、相位信息、链路物理通断等。

·窄带载波干扰计算

根据居民用户对地耦合电容抽检结果，计算出耦合电容—频率曲线，最高发射功率时的耦合电容漏电流。

经大量抽检数据分析，考虑漏电保护开关内部对高频信号衰减能力，研究提出居民用户对地耦合电容及由窄带载波干扰引起的漏电流限值（参考）。

4）本地系统在实验室进行窄带载波点对点通信模拟测试，施加影响量包括电力线阻抗—频率特性，配变台区串扰信号，高频噪声干扰，电力线窄带载波信号衰减特性，铜铝接头的窄带载波信号反射损失等。

5）本地系统在实验室进行路由、中继、组网性能及影响量模拟仿真测试。

根据本地系统考核指标，在以上本地系统模拟仿真测试后，对路由、中继、组网性能设计进行算法调整、设计改进，并再进行模拟仿真测试。

5、 按照本地系统设计与仿真结果，考虑是否需要制定必要的辅助管理措施。

1）对电力线高频干扰源在本地系统自动抄表期间进行管制。

2）电力线、T接线、电缆的铜铝接头，开展检查与改进。

6、 本地系统工程验收

1）本地系统考核指标测试

2）在现场，对本地系统路由、中继、组网全过程进行可视化在线监测；窄带载波信号发射最高功率测试？

3）其它验收测试项目：（待定）

7、 本地系统工程设计与管理方法资料（包括算法、软件）汇总、归档。

参考文献

[1] 张震 窄带载波自动抄表系统设计研究